

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.10.018

福州黑臭水体综合治理——以马尾君竹河为例

黄志心

(福州市规划设计研究院, 福建 福州 350108)

摘要: 在回顾福州市内河治理经验教训的基础上,针对城区部分河道仍存在的黑臭问题,以马尾君竹河综合治理为案例,系统阐述福州市新一轮黑臭水体综合治理理念、思路与技术,注重治理技术的系统性、落地性、实用性及有效性。工程实践表明,采用“控源截污、内源治理、活水保质、生态修复、内涝整治、景观改造”的技术路线,能够实现消除黑臭、恢复生态、消除内涝、提升景观的目标。结合案例总结经验并提出建议,可为其他城市黑臭水体治理提供参考。

关键词: 黑臭水体; 综合治理; 内涝整治

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)10-0101-07

Comprehensive Treatment of Black-odorous Water in Fuzhou—A Case Study of Junzhu River in Mawei

HUANG Zhi-xin

(Fuzhou Planning Design & Research Institute, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Based on experience review of internal river management in Fuzhou, taking the comprehensive treatment of Junzhu River in Mawei as an example, the concept, strategy and technology for a new round of black-odorous water management were systematically expounded. The systematization, landing ability, practicability and effectiveness of treatment technology were also discussed. The engineering practice showed that the method of source control and pollution interception, endogenous pollution treatment, water supplement, ecological restoration, waterlogging control and landscape renovation was an effective way to clean the black-odorous water, eliminate waterlogging and restore the eco-balance. On the basis of summarizing, the corresponding suggestions were put forward to provide reference for the treatment of black-odorous water in China.

Key words: black-odorous water; comprehensive treatment; waterlogging control

1 福州市内河治理历程

福州市城区河网密布,沟汊纵横,水巷蜿蜒,四城区共107条内河,分属白马河、晋安河、磨洋河、光明港、新店片、南台岛等六大水系,总长244 km,水域面积10.08 km²,水面率为4.44%,是国内水网密度最大的城市之一。城市化进程加快和基础设施缺乏,逐步破坏了城市原有的水体环境,水体黑臭现象日趋严重。

自20世纪80年代末期起,福州市持续开展内

河综合治理工作。90年代中期修建了文山里补水泵站和大腹山引水通道,对晋安河、新西河、湖前河等补水通道进行清淤疏浚,实施了西湖综合整治、沿江堤防、排涝闸站等工程。2011年,以“水清、河畅、路通、景美”为目标,综合采用驳岸整修、截污、清淤、景观建设等措施对75条内河开展综合整治工作,其中32条内河完成阶段性整治,白马河、晋安河两条主干河道以及鼓楼中心区主要补水通道水质指标达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的

IV ~ V类水质标准。

2011年整治工程以“小截污”方式为主建设截污系统,就近接入污水管道,因接入点众多,没有隔断设施,建成后管养不足,部分河道出现返黑返臭。

至2016年,四城区列入住建部督查的黑臭水体有42条,外加马尾君竹河,全市黑臭河道共43条,总长75.9 km,水域面积为1.6 km²。

为保证2017年底基本消除水体黑臭,福州市2016年8月再次对城区水系进行全面梳理、反复研究,形成福州市水系综合治理工作方案,并以此开展了有史以来最大规模的城区内河综合整治工作。本轮水系治理吸取前期经验教训,采用系统性治理思维,并引入PPP建设模式,在项目建成后由项目公司运营12~13年,运营期分年按效付费。

以君竹河黑臭水体治理为例,探讨黑臭水体治理技术在福州市内河综合整治中的应用,可为其他城市黑臭水体治理提供参考。

2 项目概况

项目整体情况见图1。



图1 项目总体情况

Fig.1 Overall situation of Junzhu River project

君竹河发源于天马山,是马江片区的行洪通道,由君竹明渠、君西支渠组成。君竹明渠由北向东南汇入闽江,全长3 873 m,河宽8~100 m,水域面积为23.0 hm²;君西支渠以君西截污闸为界,上游为1.5 km合流暗渠,下游为长500 m、宽8 m明渠,由西往东汇入君竹明渠,水域面积为0.4 hm²。君竹河为感潮河道,平均高潮水位为4.7 m(罗零高程,下同),平均低潮水位为3.0 m。

君竹河在2011年进行过整治,在支渠两侧、明渠上游进行截污,河道全线清淤;由于截污不彻底、

后期管养不到位,河道出现返黑返臭。根据2016年2月的水质检测数据(见图2),对照黑臭水体判定标准,君竹河水质呈现黑臭现象,明渠二附中到万下水闸段为轻度黑臭,支渠全段为重度黑臭(见图2),透明度均低于10 cm。

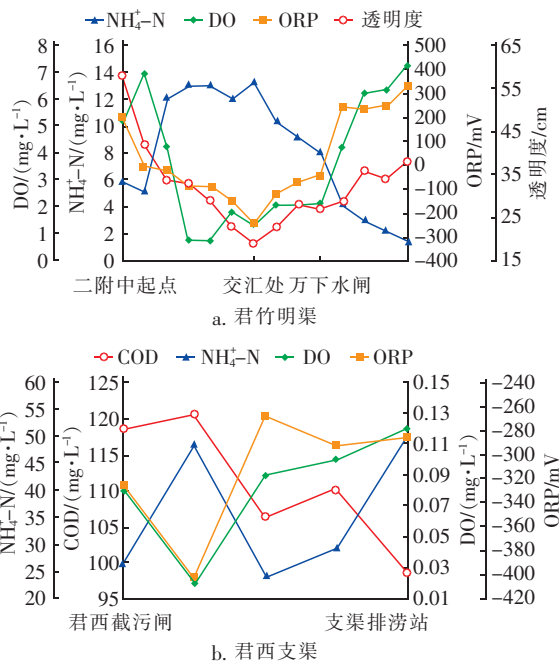


图2 君竹河整治前水质数据

Fig.2 Water quality of Junzhu River before treatment

本次整治的河段包括君竹明渠(二附中一万下水闸河段),长1 165 m,宽8~22 m,平均水深2.5 m,轻度黑臭;君西支渠,长500 m,宽8 m,平均水深2 m,重度黑臭。

2.1 污染现状

君竹河流域位于城市核心区,周边主要为居住小区、学校、企事业单位、城中村及作坊。

2.1.1 点源污染

① 明渠。2011年河道上游已进行截污,现状截污管道存在破损,大量污水漏排河道;君竹村为合流区域,未截污,晴天污水直排河道;二附中小人行天桥旁存在道路雨水边沟形成的混接雨水排口,上游山泉水汇入,沿线疗养院、机械厂新村、幼儿园有污水混接。据调查,明渠现状晴天排污口17处,晴天排污量为1 589.8 m³/d。

② 支渠。上游为合流暗涵,沿线城中村污水汇入,通过君竹泵站提升接入市政管道,由于君西截污闸渗漏严重,晴天大量合流污水排河;支渠沿河截污管重力接入青洲路d300 mm污水管道,由于污水

干管现状运行水位高,污水倒流从截流井溢出;青洲桥南岸存在混接的雨水排口,发现晴天污水流出。据调查,支渠现状晴天排污口6处,排污量为604.8 m³/d。

2.1.2 面源污染

面源污染主要来自城中村区域居民活动产生的污染物,包括君竹村、支渠上游城中村等区域。

2.1.3 内源污染

河面漂浮垃圾、河底沉积淤泥是君竹河最主要

的内源污染物。长时间排污及乱扔垃圾,污染物逐渐沉积,淤泥层不断释放污染物和臭气,是水环境恶化的重要原因。君竹河多年未开展清淤工作,据现场测量,底泥淤积深度为0.5~1.3 m,呈深黑色,散发恶臭。

根据底泥检测结果(见表1),君竹河底泥有机质含量为7.5%~16.2%,易于脱水处理;重金属含量不高,各指标均达到《城镇污水处理厂污泥处置 农用泥质》(CJ/T 309—2009)A级标准。

表1 君竹河底泥成分

Tab.1 Sediment components of Junzhu River

样品	有机质/%	Fe/(mg·kg ⁻¹)	Al/(mg·kg ⁻¹)	Zn/(mg·kg ⁻¹)	Cu/(mg·kg ⁻¹)	Mn/(mg·kg ⁻¹)	Ba/(mg·kg ⁻¹)	Cr/(mg·kg ⁻¹)	Ni/(mg·kg ⁻¹)	Cd/(mg·kg ⁻¹)	Pb/(mg·kg ⁻¹)	Co/(mg·kg ⁻¹)	As/(mg·kg ⁻¹)
MQ-1	11.4	2 742.6	1 469.7	162.1	6.3	88.8	132.4	5.7	2.2	ND	11.1	1.9	2.2
MQ-2	11.6	1 904.1	629.8	219.9	7.5	38.2	41.3	5.6	2.1	ND	9.0	1.7	0.7
ZQ-1	7.5	3 231.0	1 434.5	236.8	7.7	86.6	94.8	9.2	2.9	ND	16.8	2.8	2.9
ZQ-2	16.2	1 957.3	925.2	295.8	8.4	51.1	36.8	6.0	2.3	ND	9.0	1.7	0.1
农用泥质 A 标	—	—	—	<1 500	<500	—	—	<500	<100	<3	<300	—	<30

注: ND 为未检出, — 为未列项。

2.2 内涝现状

君竹村人行天桥东侧是传统易涝点之一,该地块北靠君山,西邻君竹河,雨洪水汇集通过西南侧排水箱涵排入君竹河,排水箱涵汇水面积为22.2 hm²。暴雨期间,伴随明渠水位抬高,地块几乎逢雨必涝。

根据现场调查,该地块易涝的原因主要有:

① 地势低洼。君竹村北高南低、东高西低,地块最低高程5.60 m,防洪堤顶高程7.80 m(50年一遇),一旦君竹河水位抬高,上游雨洪排放不及,即堆积地块造成内涝。

② 排水设施能力不足。现状排水箱涵尺寸B×H=1.5 m×3.0 m,涵底标高3.154 m,重力排入君竹河,箱涵排口装有简易水闸,年久失修、漏损明显;在地块内涝及君竹河水位抬高的情况下,排水箱涵无法将涝水排出。

3 治理方案

在调查分析的基础上,提出“控源截污、内源治理、活水保质、生态修复、内涝整治、景观改造”6种工程措施,确保实现消除黑臭、恢复生态、消除内涝、提升景观的目标。

君竹河综合治理技术路线见图3。

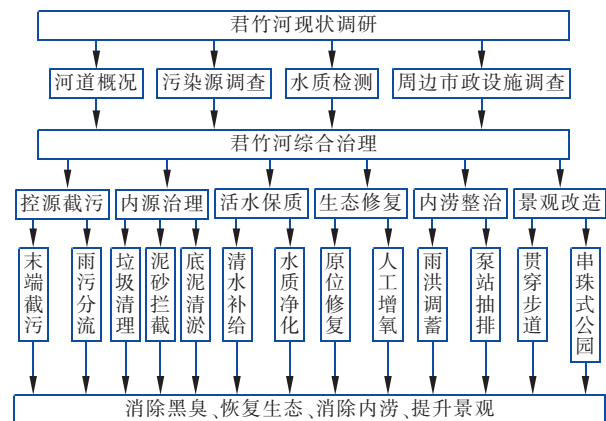


图3 君竹河综合治理技术路线

Fig.3 Technology roadmap of the comprehensive treatment of Junzhu River

3.1 控源截污

3.1.1 末端截污

对明渠上游现状截污管进行疏通改造,修复破损点3处,接驳漏接污水6处,末端挂管段采用柱体支撑满包方式重新换管,确保截流污水不外泄;明渠君竹村沿线排污口进行末端截污,岸上没有管位,在河道内部岸脚处铺设d400 mm截污管,采用截污井对沿线晴天排污口进行截流,末端设置一体化泵站将晴天污水及截流污水排入104国道d400 mm现

状污水管,超量雨水溢流入河。君竹村晴天排污量 $984.96\text{ m}^3/\text{d}$,截污管截流倍数取2,一体化泵站规模为 $150\text{ m}^3/\text{h}$ 。截流井采用上开式闸门,配套自动控制系统。

挂管修复及沿河截污做法见图4。

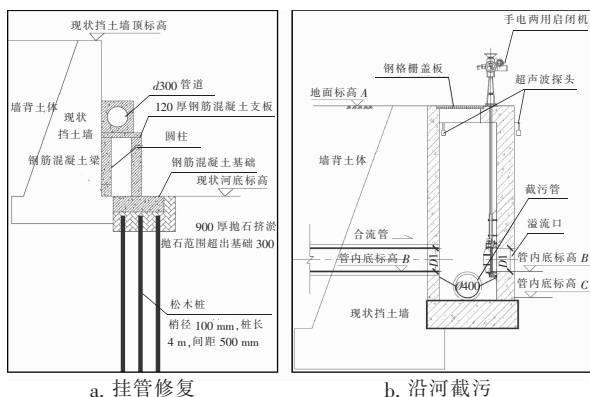


图4 挂管修复及沿河截污做法

Fig. 4 Repairing hanging pipe and intercepting wastewater along the river

对支渠起端截污闸门进行改造,利用现状闸门基础和土建,更换闸门和控制系统,杜绝暗涵合流污水直排河道。支渠现状截污管疏通改造,在截污管末端增设一体化泵站($50\text{ m}^3/\text{h}$),将截流的晴天污水提升排入青洲路现状 $d300\text{ mm}$ 污水管,避免污水干管高水位回流,支渠现状5处晴天排污口随末端污水提升消除;改造现状截流井1座,将鸭嘴阀更换为上开式闸门。

末端截污方式,疏通改造现状截污管 $1\ 030\text{ m}$,新建截污管 400 m ;新建截流井6座,改造截流井1座;新建污水泵站2座(规模 150 、 $50\text{ m}^3/\text{h}$);改造截污闸门1座。消除现状排污口21处,截流晴天污水 $1\ 330.6\text{ m}^3/\text{d}$ 。

3.1.2 雨污分流

明渠二附行人天桥旁雨水边沟水量大、浓度低,实测流量为 7 L/s ,COD为 26 mg/L , NH_4^+-N 为 9.3 mg/L ,属于典型混接污水的山泉水;采用溯源排查、混接改造的方式,将上游疗养院、机械厂新村、幼儿园的混接污水接入污水管道,消除污染源。

支渠青洲桥南岸 $d1\ 000\text{ mm}$ 雨水口存在混接现象,实测流量为 3 L/s ,COD为 232 mg/L , NH_4^+-N 为 21.4 mg/L ,属于典型的晴天混接排污口;考虑到雨水管上游为企事业单位,内部雨污分流比较完善,对上游雨水检查井及雨水口进行污染源排查,对污

水排放点进行混接改造,彻底解决污水排河问题。

雨污分流消除现状排污口2处,消除晴天排河污水为 $864\text{ m}^3/\text{d}$ 。

3.2 内源治理

3.2.1 垃圾清理

首先,清理明渠上游现状垃圾,避免冲至下游、沉积河底;其次,清理沿岸垃圾堆放点,避免生活垃圾、建筑垃圾及渗滤液排入河道;第三,加强日常维护,绿线范围内禁止设置垃圾堆放点。

3.2.2 泥砂拦截

明渠上游山体泥砂量大,雨洪水携带大量泥砂。为减少泥砂沉积河道,在明渠二附中整治起点处、河道变宽的位置建设沉砂池,集中拦截沉积泥砂。

沉砂池由放坡段和平坡段组成(见图5),流速为 0.3 m/s ,停留时间为 30 s ,有效水深为 2.0 m ;放坡段长 10 m ,宽 $8\sim 10\text{ m}$,坡度为 8% ,面积为 92.3 m^2 ;平坡段长 10 m ,宽 $10\sim 12\text{ m}$,深 0.8 m ,面积为 110 m^2 。



图5 沉砂池平面布置

Fig. 5 Layout of grit chamber

3.2.3 底泥清淤

2011年君竹河整治时在河底采用片石干砌,本次清淤将现状河床清至河底。根据河道宽度及清淤条件,君西支渠河宽 8 m ,明渠104国道以北段河宽 $8\sim 12\text{ m}$,采用干式清淤;明渠104国道以南段河宽 $12\sim 22\text{ m}$,采用半干式清淤;清淤量根据清淤前后河床实测数据进行测算,总清淤量为 $23\ 245\text{ m}^3$,其中明渠北段为 $4\ 847\text{ m}^3$ 、明渠南段为 $14\ 210\text{ m}^3$ 、支渠为 $4\ 188\text{ m}^3$ 。

河道淤泥在现场进行板框脱水,含水率降到 40% 以下外运作为绿化覆盖土;后期运维常态化清淤建议采用湿式清淤方式,增大清淤频率,减少对周边居民的影响。

3.3 活水质保

活水质保作为提质增容的有效措施,可以在治理初期确保水质,促进河道恢复自净能力。

3.3.1 清水补给

支渠起点截污闸门在晴天时完全关闭,河道没有自然水源补给,从明渠治理河段下游引水进行补给,在万下水闸旁建设补水泵站,沿河道驳岸脚铺设引水管道至支渠起点处。补水规模按照每天置换1次计算,因涨落潮影响每天运行8 h,泵站规模为 $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (见表2),采用一体化泵站,铺设 $d800 \text{ mm}$ 钢筋混凝土引水管20 m、DN500PE 补水管930 m。

表2 支渠补水规模计算

Tab.2 Calculations of water replenishment of branch canals

河长/ m	河宽/ m	平均水深/ m	河道水量/ m^3	运行时间/ h	补水规模/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
500	8	2.0	8 000	8	0.30

明渠采取纳潮补水方式,非汛期打开万下水闸,随涨落潮循环补水;平均高潮水位4.7 m,平均低潮水位3.0 m,潮差1.7 m,水域面积为 $18\,640 \text{ m}^2$,每次纳潮 $31\,688 \text{ m}^3$,每天补水两次。

3.3.2 水质净化

针对君竹村晴天散排污染以及截污管降雨初期的溢流污染问题,在君竹村南侧布置旁路处理站,对污染河水进行水质净化,作为君竹村整体改造前的临时设施,以及河水水质保障的应急措施,河水处理后回补河道。

河水处理站规模按20 d处理一次计算,明渠黑臭段水域面积为 $18\,640 \text{ m}^2$,平均水深2.5 m,总水量 $46\,600 \text{ m}^3$,处理规模取 $2\,400 \text{ m}^3/\text{d}$;采用一体化MBBR处理工艺,可移动式装置,重点针对氨氮进行处理。河水处理站进、出水指标见表3。

表3 河水处理站进、出水指标

Tab.3 Influent and effluent quality of integrated treatment station $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	COD
进水	≤ 15	≤ 60
出水	≤ 2	≤ 40

3.4 生态修复

3.4.1 原位修复

采用IMA微生物活化系统对河道进行原位修复,活化本土微生物,加快河道恢复自净能力。IMA系统利用水体微循环,大量增殖水体本土微生物,打

破原水体微生物平衡状态,将整个水体转化为生物反应器系统,实现河道的原位修复^[1]。

明渠黑臭段设置8套,支渠设置3套,每套设备占地 1 m^2 ,功率0.35 kW,可随时开启、关闭,具备移动安装和重复利用的特点。

3.4.2 人工增氧

由于支渠上游为合流暗涵,汛期截污闸泄洪后,上游下冲的污染物对水质影响较大;恢复期内采用人工增氧措施提高河水溶解氧、降低氨氮,同时配合IMA系统强化水体自净能力。

支渠设置3台离心风机,沿线安装微孔曝气盘,每台风机功率4.0 kW。

3.5 内涝整治

为消除君竹村传统易涝点,在君竹村南侧建设雨洪调蓄池,削减洪峰流量,并配套泵站进行抽排。现状排水箱涵汇水面积为 22.2 hm^2 ,区域防洪标准20年一遇,对应的市政雨水设计重现期为5年^[2],采用水利算法与市政算法分别测算调蓄池容积(见表4)。水利算法采用华东特小流域公式计算,推理公式复核;市政算法采用《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016年版)雨洪调蓄池计算方法。

表4 雨洪调蓄池规模计算

Tab.4 Scale calculations of rain and flood storage tank

计算方法		洪峰流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	调蓄池容积/ m^3	配套泵站/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
水利算法	华东特小流域公式计算	4.27	4 317	2.0
	推理公式复核	4.22		
市政算法	室外排水设计规范	—	4 641	2.0

结合现场用地适当放大,确定雨洪调蓄池容积为 $5\,250 \text{ m}^3$,调蓄水深为5.0 m,平面尺寸 $L \times B = 35 \text{ m} \times 30 \text{ m}$;配套泵站规模为 $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

雨洪调蓄池采取水位控制方式,安装2台 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 轴流泵,调蓄水深3.80 m时启动一台水泵,1.5 min后启动两台水泵,调蓄水深0 m时关闭水泵;采用门式冲洗设备,冲洗水及泵坑积水采用2台 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 潜污吸砂泵抽排;洪水抽排后直排君竹河,冲洗水及泵坑积水通过砂水分离器处理后排入君竹河。

同时,更换排水箱涵现状水闸,采用双向铸铁镶铜方闸门,尺寸 $B \times H = 1.5 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$,配套手电两

用启闭机;晴天防止河水上涨倒灌,汛期配合雨洪调蓄池启闭操作。

3.6 景观提升

结合河道整治,对两侧景观进行提升,建设贯穿步道及串珠式带状滨水公园,构建城市生态走廊。景观提升总面积为 17 869 m²,包含两侧人行步道 2 112 m、铁路主题公园 1 处、串珠公园 2 处。

4 治理效果

该治理工程于 2017 年 6 月开工建设,2017 年底基本消除黑臭;2018 年 6 月完成水工主体工程,提前进行水质运维;2019 年 3 月建成竣工,全面转入正常运维。建成 10 个月以来,水工设施运转良好,水质远远优于黑臭标准,COD、DO、NH₄⁺-N 的地表水 V 类标准的达标率分别为 100%、100%、46.7% (见图 6)。

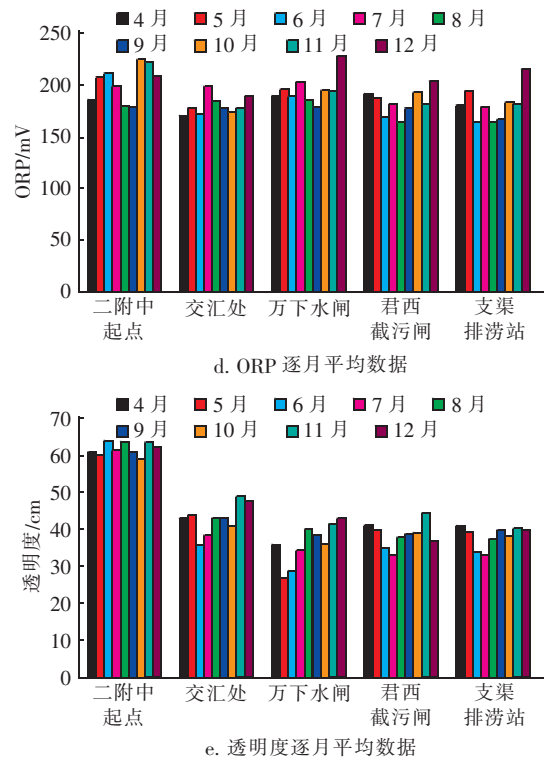
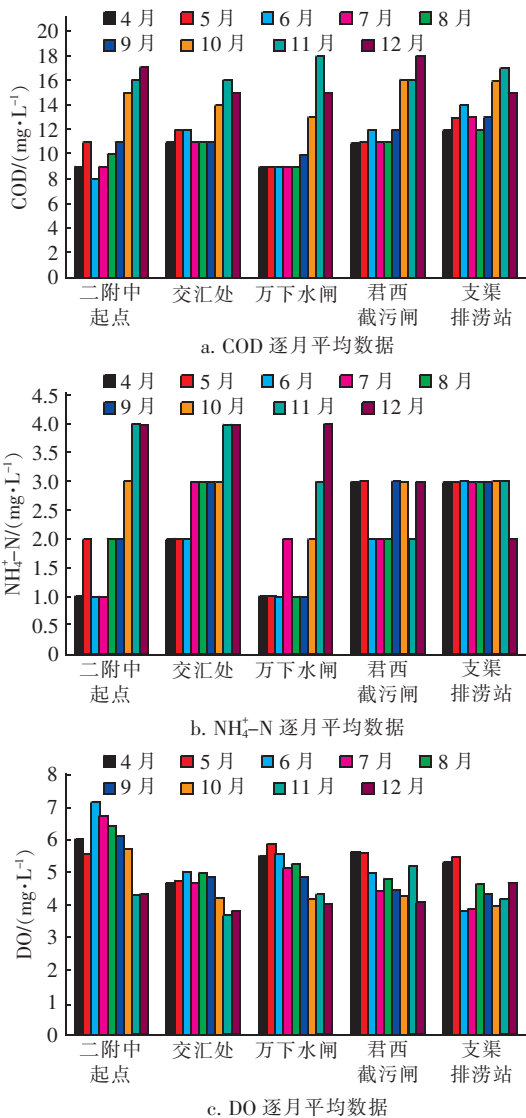


图6 君竹河整治后水质数据

Fig. 6 Water quality of Junzhu River after treatment

河道整治完成后,水清岸绿,两侧步道及公园成为居民休闲、健步、娱乐场所。

雨洪调蓄池自 2019 年 3 月建成以来,经历了 2019 年台风季节超标暴雨的考验,启动运行 2 次,君竹村区域没有出现内涝问题。

5 治理经验及建议

福州市本轮水系整治已接近尾声,包含君竹河在内的 43 条黑臭水体 2017 年底已全部消除黑臭;目前除君竹河竣工运维外,其余河道均处于竣工验收阶段,水质整体改善明显。回顾 3 年多的黑臭水体治理历程,提出以下治理经验及建议:

① 全面调查、摸清底数

黑臭水体治理的第一步是进行全面的现状调查,包括河道概况、岸上污染源、河水水质、污泥厚度、污泥泥质、河道水工设施、周边污水管道,以及周边地块性质等。黑臭水体的成因是区域性的,治理措施应以问题为导向、逆向分析,针对性地综合施策,采用全面的调查资料,才能提出有效的针对性治理措施。

② 系统性的治理方式

黑臭水体整治可以总结为症状在水中、根源在

岸上、核心是管网、关键在排口。引起黑臭的根源在于污水没有接入污水管而排入河道,整治措施应首先消除黑臭的根源,岸上岸下统筹治理、源头过程末端三管齐下,同步推进河道清淤、沿河截污、市政管网排查改造、建筑小区雨污分流、排水户建档纳污、污水处理终端提升等控源减负工作;其次,应尽快恢复河道的自净能力,同步开展活水保质、生态修复等提质增容工作;第三,治污治涝生态海绵同步开展,将黑臭水体治理工作拓展为内涝整治、景观提升、慢行系统、城市绿道等综合性城市生态环境建设工作。

③ 治理措施因地制宜

黑臭水体治理并非千篇一律,应根据河道区域位置、主体功能、两岸空间、驳岸情况、周边地块、底泥淤积、补水来源等,具体问题具体分析、因地制宜选择合适的处理方式。

以控源截污为例,末端截污时间短、见效快、晴天污水治理彻底,但成本高、拆迁大、存在溢流污染等问题;源头雨污分流彻底消除污染源、不用建设过渡设施,但工作量大、时间久、需多轮反复、见效慢。因此,在设计之初应划分沿线排口的汇水区域,针对各区域的实际情况,按照项目建设时限采取不同的控源方式,但整体上应结合提质增效要求,尽量贯彻雨污分流理念,最大范围进行源头雨污分流工作,比如君西支渠上游合流暗涵若能尽快进行雨污分流,就不会出现汛期泄洪后的水体污染及恢复的问题。

参考文献:

[1] 杨丽丽. 微生物活化(IMA)工程技术修复沈阳市北陵

公园双轮湖水体示范工程[D]. 沈阳:辽宁大学, 2018.

Yang Lili. Demonstration Project of IMA Microbial Activation Engineering Technology Repairs Shuanglun Lake of Beiling Park in Shenyang City[D]. Shenyang: Liaoning University, 2018(in Chinese).

[2] 高学珑. 城市排涝标准与排水标准衔接的探讨[J]. 给水排水, 2014, 40(6): 18-21.

Gao Xuelong. Study on the connection between the standards of urban drainage system and waterlogging control system[J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(6): 18-21(in Chinese).



作者简介:黄志心(1983-),男,福建南安人,硕士,高级工程师,主要从事市政给水排水规划设计工作。

E-mail: 75748862@qq.com

收稿日期: 2020-02-09

节约每一滴水,回收每一滴水,
让每一滴水多循环一次